

电线电缆

WIRE & CABLE

主办单位:上海电缆研究所有限公司
1958年创刊, 线缆行业学术交流平台

- 中国学术期刊综合评价数据库来源期刊
- 中国期刊全文数据库全文收录期刊
- 中文科技期刊数据库(全文版)收录期刊
- CACJ中国应用型入库期刊



ISSN 1672-6901
CN 31-1392/TM



网址: jwc.cwc.net.cn
邮箱: wirecable@secr.com
电话: 021-5117 9609

国内聚丙烯绝缘电力电缆及材料标准规范概述

黄上师 张熙宇 童成 李琦 何金良

Overview of Standards and Specifications for Polypropylene Insulation Power Cables and Its Materials in China

HUANG Shangshi, ZHANG Xiyu, TONG Cheng, LI Qi, HE Jinliang

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.16105/j.dxdl.1672-6901.20256032>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

新型环保聚丙烯绝缘材料老化寿命的研究及测定

Research and Determination of Aging Life for New Environmentally Friendly Polypropylene Insulation Materials

电线电缆. 2024, 67(4): 1-6,13 <https://doi.org/10.16105/j.dxdl.1672-6901.202404001>

环保型聚丙烯绝缘电力电缆国产化应用探讨

Exploration on Localization Application of Environmentally Friendly Polypropylene Insulated Power Cable

电线电缆. 2023, 66(3): 30-32 <https://doi.org/10.16105/j.dxdl.1672-6901.202303006>

105℃中压聚丙烯绝缘电力电缆的研制

Development of 105℃ Medium Voltage Polypropylene Insulated Power Cables

电线电缆. 2024, 67(4): 20-24 <https://doi.org/10.16105/j.dxdl.1672-6901.202404004>

新型环保聚丙烯绝缘中压电力电缆的研究

Research on New Type Environmental Polypropylene Insulated Medium Voltage Power Cable

电线电缆. 2021, 64(5): 13-16 <https://doi.org/10.16105/j.cnki.dxdl.2021.05.005>

35 kV改性聚丙烯材料性能测试分析及生产问题解决

35 kV Modified Polypropylene Material Performance Test Analysis and Production Problem Solution

电线电缆. 2023, 66(2): 31-36 <https://doi.org/10.16105/j.dxdl.1672-6901.202302008>

35kV聚丙烯绝缘电缆的温度特性研究

Temperature Characteristics of 35 kV Modified Polypropylene Insulated Cable

电线电缆. 2023, 66(4): 42-45,51 <https://doi.org/10.16105/j.dxdl.1672-6901.202304009>



关注微信公众号，获得更多资讯信息



黄上师, 张熙宇, 童成, 等. 国内聚丙烯绝缘电力电缆及材料标准规范概述 [J]. 电线电缆, 2025, 68(2): 1-11.
HUANG S S, ZHANG X Y, TONG C, et al. Overview of standards and specifications for polypropylene insulation power cables and its materials in China[J]. Wire & Cable, 2025, 68(2): 1-11.
DOI: [10.16105/j.dxdl.1672-6901.20256032](https://doi.org/10.16105/j.dxdl.1672-6901.20256032)

国内聚丙烯绝缘电力电缆及材料标准规范概述

黄上师, 张熙宇, 童成, 李琦, 何金良

(新型电力系统运行与控制全国重点实验室(清华大学), 北京 100084)

摘要: 聚丙烯绝缘电力电缆因其优异的电气性能、环境友好及可回收等性能得到国内外相关领域的广泛关注。随着聚丙烯电缆的推广应用, 目前已形成部分关于聚丙烯电缆及其材料的标准规范。文中针对国内行业已发布的多项热塑性聚丙烯电缆及聚丙烯电缆材料相关的团体标准, 对比分析了各标准文件的试验项目、条件和要求, 深入讨论了当前业内对聚丙烯电缆工程应用的疑虑, 并提出了聚丙烯电缆标准化进程的研究方向, 为未来聚丙烯电缆更科学的标准化发展提供参考指引。

关键词: 热塑性材料; 聚丙烯基绝缘料; 聚丙烯基半导体屏蔽料; 聚丙烯电缆; 标准规范

中图分类号: TM247

文献标志码: A

文章编号: 1672-6901(2025)02-0001-11

0 引言

电力电缆通常敷设于地下, 以避免恶劣环境和自然灾害的影响。环保型大容量聚丙烯绝缘电力电缆在保障能源有效输送的同时, 也提升了电工装备的环境友好性, 更符合我国“双碳”目标的需求^[1]。聚丙烯(polypropylene, PP)材料作为五大通用塑料之一, 具有工作温度高、电气绝缘性强及天然抗水树性等优势, 其本征热塑性和易加工性在电缆制造过程中可降低碳排放且提高生产效率, 在电缆使用到期后还可实现回收再利用, 有望成为新一代环保型电力电缆绝缘的主要材料^[2-5]。

目前, 国外聚丙烯绝缘电力电缆的发展处于起步阶段, 意大利、韩国、日本和瑞士等国家的研发机构均成功研制出中压至高压的聚丙烯电缆, 并实现了工程应用。其中, 意大利普睿司曼公司(Prysmian)自2003年开始研究聚丙烯电缆关键技术, 至2020年已在工程中应用超过5万千米的中压聚丙烯电缆, 相较于传统交联聚乙烯电缆, 碳排放降低了约39%^[6]。我国聚丙烯电缆的研发始于2014年, 目前正处于稳步前进的追赶阶段, 清华大学、上海交通大学、天津大学、哈尔滨理工大学、西安交通大学等高校和研发机构进行了基础理论攻关。随后, 中国电科院、

南网科研院、国网辽宁电科院、南网广东电科院等电网科研机构联合各高校与企业开展了材料性能调控与工程应用研究; 中石化、中广核、万马高分子、海江高分子等材料供给与改性企业同步进行了材料批量制备工艺研究; 上缆所、武高所等电缆研发检测机构开展了试验项目及标准化的制定工作。未来, 聚丙烯绝缘电力电缆将朝着交/直流电网不同应用场景、更高电压等级和更大输送容量的方向发展。

聚丙烯材料因其高硬度和脆性等特性, 需要经过增韧改性才能满足电力电缆的使用需求。目前, 增韧改性方法主要分为共混和共聚。共混是将聚丙烯基体与软质聚合物进行混合, 以降低模量; 共聚则是在反应釜中将丙烯单体与其他烯烃单体聚合, 形成较软的抗冲共聚物, 以提升整体韧性。上述两种改性方法均是为了改善聚丙烯材料的机械性能, 但机械性能改善后电气性能会有所下降。因此, 在增韧的基础上, 还形成了两种改性路线, 即接枝改性和纳米掺杂技术, 以提升电气性能。接枝改性主要是在聚丙烯侧链上化学接枝功能基团, 抑制载流子运动, 以提升电气性能; 纳米掺杂技术主要是通过纳米粒子物理分散于聚丙烯基体中捕获载流子, 从而提升电气性能^[7-8]。已有文献研究表明, 适当的乙烯含量

与丙烯共聚有利于提升电气性能^[9],同时发现弹性体与聚丙烯共混能够调节晶型变化,从而提升电气性能^[10]。针对耐电树、耐水树及抗老化等性能的改性,主要通过添加有机或无机颗粒等进行改性^[11],也有文献表明接枝改性技术能够提升聚丙烯耐水树性能^[12]。

聚丙烯绝缘电力电缆在中压交流 10 kV 和 35 kV、高压交流 110 kV 已实现工程示范应用,目前更高电压等级的交/直流聚丙烯电缆也在逐步研制。2020 年,我国实现了 10 kV 共混和共聚路线聚丙烯电缆的挂网试运行;同年,35 kV 共混和共聚路线、10 kV 和 35 kV 接枝路线聚丙烯电缆也成功研制,并参考交联聚乙烯电缆进行了试验验证。2022 年,10 kV 和 35 kV 接枝路线聚丙烯电缆实现了挂网试运行。2023 年,110 kV 共混、共聚和接枝改性路线聚丙烯电缆均成功研制;同年,110 kV 共混路线聚丙烯电缆实现了挂网试运行。2024 年,110 kV 接枝改性路线聚丙烯电缆实现了挂网试运行。目前,中压聚丙烯电缆已实现一定范围的工程示范应用,并制定了相应电压等级电缆及电缆料的团体标准,进一步明确了检测参数、手段和方法,帮助电缆生产企业更好地把控产品质量和性能。

由于聚丙烯绝缘电力电缆领域涌现出多种技术路线,且每种技术路线各有优势,本文拟对我国现行中压热塑性聚丙烯电缆和电缆料团体标准进行分析讨论。通过将标准规范中的试验项目、方法和指标进行概述,区分不同技术路线在指标上的差异性,获得适用于热塑性聚丙烯电缆的评价方法和指标,指导后续更高电压等级聚丙烯绝缘电力电缆的材料研发、生产制造和考核评价。

1 聚丙烯电缆料标准规范

热塑性聚丙烯绝缘电力电缆料主要分为聚丙烯基绝缘料和半导体屏蔽料。截至目前,已发布 4 项中压热塑性聚丙烯绝缘电力电缆料的团体标准,分别为由上海市塑料工程技术学会发布的 T/SHPTA 014.1—2021《额定电压 6 kV 到 35 kV 电力电缆用改性聚丙烯电缆料 第 1 部分:绝缘料》^[13]、T/SHPTA 014.2—2021《额定电压 6 kV 到 35 kV 电力电缆用改性聚丙烯电缆料 第 2 部分:半导体屏蔽料》^[14],以及由中国石油和化学工业联合会发布的 T/CPCIF 0230—2022《额定电压 6 kV ($U_m=7.2$ kV) 至 35 kV ($U_m=40.5$ kV) 热塑性聚丙烯绝缘电力电缆用绝缘料》^[15]、T/CPCIF 0231—2022

《额定电压 6 kV ($U_m=7.2$ kV) 至 35 kV ($U_m=40.5$ kV) 热塑性聚丙烯绝缘电力电缆用半导体屏蔽料》^[16]。

1.1 聚丙烯电缆用绝缘料

在适用范围上,T/SHPTA 014.1—2021 中表明该文件适用于以聚丙烯为基料,经改性并添加其他助剂后制成的热塑性绝缘料,即该文件仅适用于在聚丙烯聚合过程完成之后进行后改性的热塑性绝缘料。T/CPCIF 0230—2022 中表明该文件适用于以丙烯和乙烯为主要原料,在催化剂作用下经反应釜直接合成制备的共聚绝缘料;此外,也适用于以聚丙烯为基料经改性后制备的绝缘料。其中,T/CPCIF 0230—2022 将聚丙烯电缆绝缘料在使用范围上增加了釜内聚合形成的共聚聚丙烯绝缘料,一定程度扩大了该文件的适用范围。

在工作温度上,T/SHPTA 014.1—2021 规定了绝缘料用于电缆时导体长期允许最高工作温度(简称导体最高工作温度)为 105 ℃;T/CPCIF 0230—2022 规定了导体最高工作温度为 90 ℃。T/SHPTA 014.1—2021 在电气性能中还规定了工作温度为 20, 90, 105 ℃ 时的具体值要求,包括体积电阻率和介质损耗因数($\tan \delta$)。

在电气性能上,T/SHPTA 014.1—2021 和 T/CPCIF 0230—2022 均对交流介电强度、体积电阻率、相对介电常数和 $\tan \delta$ 作出规定。对于介电强度,T/SHPTA 014.1—2021 和 T/CPCIF 0230—2022 仅规定了常温下电极直径为 25 mm、样品厚度为 1 mm 的介电强度不低于 $35 \text{ kV} \cdot \text{mm}^{-1}$,但对工作温度下的介电强度未作要求。对于体积电阻率,T/SHPTA 014.1—2021 规定了 20, 90, 105 ℃ 时的体积电阻率分别不低于 1×10^{14} , 3×10^{11} , $1 \times 10^{11} \Omega \cdot \text{m}$;而 T/CPCIF 0230—2022 则规定 23, 90 ℃ 时分别不低于 1×10^{14} , $1 \times 10^{11} \Omega \cdot \text{m}$,表明 T/SHPTA 014.1—2021 规定的 90 ℃ 下体积电阻率的要求更为严苛。对于相对介电常数,两项标准均仅考核了常温下的数值,T/SHPTA 014.1—2021 规定了相对介电常数为 2.10 ± 0.20 ;T/CPCIF 0230—2022 则要求不超过 2.35,表明 T/SHPTA 014.1—2021 的要求更为苛刻。对于 $\tan \delta$,T/SHPTA 014.1—2021 规定了 20, 90, 105 ℃ 时的 $\tan \delta$ 分别不超过 1×10^{-3} , 4×10^{-3} , 4×10^{-3} ;T/CPCIF 0230—2022 则要求室温下的 $\tan \delta$ 不超过 5×10^{-4} ,90 ℃ 下共聚聚丙烯绝缘料和改性聚丙烯绝缘料的 $\tan \delta$ 分别不超过 1×10^{-3} 和 2×10^{-3} ,表明两项标准均规定了工作温度下 $\tan \delta$ 在 10^{-3} 数量级。

在老化前后机械性能上,T/SHPTA 014.1—2021

的空气热老化试验条件为在 150 ℃ 下老化 168 h, 老化前后拉伸强度变化率和断裂伸长率变化率均不超过±25%; T/CPCIF 0230—2022 的空气热老化试验条件为在 135 ℃ 下老化 240 h, 老化前后拉伸强度变化率和断裂伸长率变化率均不超过±30%。这是由于 T/SHPTA 014.1—2021 适用于导体最高工作温度为 105 ℃ 的电缆, 而 T/CPCIF 0230—2022 适用于导体最高工作温度为 90 ℃ 的电缆。因此, 参照交联聚乙烯国家标准中空气热老化试验温度比标称导体最高工作温度高 45 ℃ 的经验, 上述两项标准规定了不同空气热老化的试验温度。值得注意的是, T/CPCIF 0230—2022 中规定, 老化后拉伸强度和断裂伸长率分别不低于 15 MPa 和 450%, 老化前则分别不低于 20 MPa 和 500%。这表明该标准既规定了老化后各变化率不超过±30%, 又规定了老化后的具体数值要求。根据此规定, 若以老化前拉伸强度和断裂伸长率分别为 20 MPa 和 500% 计算, 并考虑老化后各变化率不超过±30%, 老化后拉伸强度和断裂伸长率应分别在 14~26 MPa 和 350%~650%; 同时, 考虑老化后拉伸强度和断裂伸长率分别不低于 15 MPa 和 450%, 最终的测试范围在 15~26 MPa 和 450%~650%, 才能符合文件要求。

在低温性能上, T/SHPTA 014.1—2021 和 T/CPCIF 0230—2022 均规定在 -25 ℃ 下开展低温冲击试验, 要求失效数不超过 15/30。在热性能上, 两项标准均摒弃原有交联聚乙烯的热延伸试验, 采用热变形试验来考核材料的热性能, 均按照 GB/T 8815—2008《电线电缆用软聚氯乙烯塑料》^[17] 中 6.4 规定进行试验。T/SHPTA 014.1—2021 要求在 135 ℃ 下进行 1 h 热变形试验, 形变率不超过 40%; T/CPCIF 0230—2022 要求在 140 ℃ 下进行 1 h 热变形试验, 形变率不超过 10%。在水分含量上, 两个标准均考虑了水分对材料的影响, T/SHPTA 014.1—2021 按照 GB/T 2951.13—2008《电缆和光缆绝缘和护套材料通用试验方法 第 13 部分: 通用试验方法——密度测定方法——吸水试验——收缩试验》^[18] 进行吸水试验; T/CPCIF 0230—2022 则按照 SH/T 1770—2010《塑料聚乙烯水分含量的测定》^[19] 进行水分含量测试。

针对两项标准中试验项目的差异性, T/SHPTA 014.1—2021 规定了杂质检测和水树试验的要求, 并在该文件中通过附录的形式详细描述; T/CPCIF 0230—2022 规定了对熔体质量流动速率 (melt mass-flow rate, MFR), 以及一次挤出后 MFR

变化率的要求, 考虑了流变特性等工艺参数; 此外, T/CPCIF 0230—2022 还规定了弯曲模量, 共聚丙烯绝缘料和改性聚丙烯绝缘料的弯曲模量分别不超过 700 MPa 和 800 MPa。

两项标准中聚丙烯电缆用绝缘料主要性能对比见表 1。其中, JR 为以丙烯和乙烯为主要原料在催化剂作用下经反应釜直接合成制备的共聚绝缘料; JC 为以聚丙烯为基料经改性后制备的绝缘料。

1.2 聚丙烯电缆用半导体屏蔽料

在适用范围上, T/SHPTA 014.2—2021 表示该文件适用于以聚烯烃类聚丙烯等为基料、改性并掺杂助剂和导电炭黑形成的热塑性粒料; T/CPCIF 0231—2022 表示该文件适用于以无卤烯烃类热塑性聚合物为基料、添加导电炭黑及助剂形成的屏蔽料。两项屏蔽料团体标准均区分了可剥离型屏蔽料和不可剥离型屏蔽料, 进一步规范了不同类型半导体屏蔽料的性能指标要求。

在工作温度上, 与绝缘料相匹配, T/SHPTA 014.2—2021 适用于电缆导体最高工作温度为 105 ℃, 其电气性能中体积电阻率测试要求在 20 ℃ 和 105 ℃ 下进行; T/CPCIF 0231—2022 适用于电缆导体最高工作温度为 90 ℃, 其体积电阻率测试要求在 23 ℃ 和 90 ℃ 下进行。

在电气性能上, T/SHPTA 014.2—2021 规定, 在 20 ℃ 时, 不可剥离型屏蔽料和可剥离型屏蔽料的体积电阻率均不超过 100 Ω·cm; 在 105 ℃ 时, 不可剥离型屏蔽料的电气性能与可剥离型屏蔽料有所差异, 体积电阻率分别不超过 5 000 Ω·cm 和 2 500 Ω·cm, 表明该文件中对可剥离型屏蔽料的体积电阻率要求更苛刻。T/CPCIF 0231—2022 规定, 在 23 ℃ 时, 不可剥离型屏蔽料和可剥离型屏蔽料的体积电阻率均不超过 100 Ω·cm; 在 90 ℃ 时, 分别不超过 1 000 Ω·cm 和 500 Ω·cm, 表明该文件对可剥离型屏蔽料的体积电阻率要求同样更苛刻。这两项团体标准均规定了空气热老化后最高工作温度时的体积电阻率。T/SHPTA 014.2—2021 规定在 115 ℃ 下老化 168 h 后, 105 ℃ 时不可剥离型屏蔽料和可剥离型屏蔽料的体积电阻率要求与老化前一致。T/CPCIF 0231—2022 规定在 100 ℃ 下老化 168 h 后, 90 ℃ 时不可剥离型屏蔽料和可剥离型屏蔽料的体积电阻率分别不超过 1 000 Ω·cm 和 500 Ω·cm, 也与老化前的要求一致。

在老化前后机械性能上, T/SHPTA 014.2—2021

表 1 两项标准中聚丙烯电缆用绝缘料主要性能对比
Tab.1 Main properties comparison of insulating materials for polypropylene cable in the two standards

项目		T/SHPTA 014.1—2021	T/CPCIF 0230—2022
工作温度	导体最高工作温度/℃	105	90
电气性能	20 ℃时体积电阻率/(Ω·m)	≥1×10 ¹⁴	—
	23 ℃体积电阻率/(Ω·m)	—	≥1×10 ¹⁴
	90 ℃体积电阻率/(Ω·m)	≥3×10 ¹¹	≥1×10 ¹¹
	105 ℃体积电阻率/(Ω·m)	≥1×10 ¹¹	—
	相对介电常数	2.10±0.20	≤2.35
	20 ℃介质损耗因数 (tan δ)	≤1×10 ⁻³	—
	23 ℃介质损耗因数 (tan δ)	—	≤5×10 ⁻⁴
	90 ℃介质损耗因数 (tan δ)	≤4×10 ⁻³	≤1×10 ⁻³ (JR) ; ≤2×10 ⁻³ (JC)
	105 ℃介质损耗因数 (tan δ)	≤4×10 ⁻³	—
老化前后机械性能	空气热老化试验条件	150 ℃, 168 h	135 ℃, 240 h
	拉伸强度变化率/%	≤±25	≤±30
	断裂伸长率变化率/%	≤±25	≤±30
	老化后拉伸强度/MPa	—	≥15
	老化后断裂伸长率/%	—	≥450
热变形试验	形变率/%	≤40 (135 ℃, 1 h)	≤10 (140 ℃, 1 h)

中规定老化前拉伸强度和断裂伸长率分别不低于 10 MPa 和 200%; 空气热老化试验条件为 135 ℃ 下老化 240 h, 不可剥离型屏蔽料和可剥离型屏蔽料老化后拉伸强度变化率和断裂伸长率变化率均不超过±40%。T/CPCIF 0231—2022 中区分了不可剥离型屏蔽料和可剥离型屏蔽料老化前后机械性能的要求, 不可剥离型屏蔽料老化前拉伸强度和断裂伸长率分别不低于 12.5 MPa 和 350%, 可剥离型屏蔽料分别不低于 10 MPa 和 300%; 此外, 还区分了空气热老化试验条件, 不可剥离型屏蔽料的试验条件为在 135 ℃ 下老化 168 h, 可剥离型屏蔽料的试验条件为在 110 ℃ 下老化 168 h, 两种不同屏蔽料老化后拉伸强度变化率和断裂伸长率变化率均不超过±30%。

在低温性能上, 两项标准均规定了-25 ℃ 下的低温冲击试验, 要求失效数不超过 15/30。在热性能上, T/SHPTA 014.2—2021 区分了不可剥离型屏蔽料和可剥离型屏蔽料的试验温度, 不可剥离型屏蔽料采用 130 ℃, 可剥离型屏蔽料采用 120 ℃, 形变率均要求不超过 40%。T/CPCIF 0231—2022 同样区分了不同屏蔽料的试验温度, 不可剥离型屏蔽料和可剥离型屏蔽料的热变形

试验温度分别为 140 ℃ 和 120 ℃, 形变率均要求不超过 50%。由形变率的要求可知, 可剥离型屏蔽料的热变形试验温度均低于不可剥离型屏蔽料。

两项团体标准均区分了不可剥离型屏蔽料和可剥离型屏蔽料, 因此在标准中对可剥离型屏蔽料老化前后的剥离强度进行了规范。两项标准均规定, 老化前后的剥离强度应在 10~60 N·cm⁻¹。其中, T/SHPTA 014.2—2021 的老化条件为 115 ℃ 下老化 168 h, 而 T/CPCIF 0231—2022 的老化条件为 100 ℃ 下老化 168 h, 老化条件的不同或许与屏蔽料对应的导体最高工作温度有关。此外, 两个标准还对密度和氧化诱导时间(200 ℃)等进行了规定。

两项标准中聚丙烯电缆用半导体屏蔽料的主要性能对比见表 2。

2 聚丙烯电力电缆标准规范

前文分别概述了两项热塑性聚丙烯基绝缘料团体标准和两项半导体屏蔽料团体标准, 这些标准规范为聚丙烯绝缘电力电缆材料的性能考核及筛选提供了有力支撑。目前, 国内已制定了两项热塑性聚丙烯绝缘电力电缆的团体标准, 包

表 2 两项标准中聚丙烯电缆用半导电屏蔽料主要性能对比

Tab.2 Main properties comparison of semi-conductive shielding materials for polypropylene cable in the two standards

项目		T/SHPTA 014.2—2021		T/CPCIF 0231—2022	
		不可剥离型屏蔽料	可剥离型屏蔽料	不可剥离型屏蔽料	可剥离型屏蔽料
工作温度	导体最高工作温度/℃	105	105	90	90
电气性能	20 ℃时体积电阻率/(Ω·cm)	≤100	≤100	—	—
	23 ℃时体积电阻率/(Ω·cm)	—	—	≤100	≤100
	90 ℃时体积电阻率/(Ω·cm)	—	—	≤1 000	≤500
	105 ℃时体积电阻率/(Ω·cm)	≤5 000	≤2 500	—	—
	老化后90 ℃时体积电阻率/(Ω·cm)	—	—	≤1 000 (100 ℃, 168 h)	≤500 (100 ℃, 168 h)
老化后105 ℃时体积电阻率/(Ω·cm)		≤5 000 (115 ℃, 168 h)	≤2 500 (115 ℃, 168 h)	—	—
老化前后 机械性能	老化前拉伸强度/MPa	≥10	≥10	≥12.5	≥10
	老化前断裂伸长率/%	≥200	≥200	≥350	≥300
	空气热老化试验条件	135 ℃, 240 h	135 ℃, 240 h	135 ℃, 168 h	110 ℃, 168 h
	拉伸强度变化率/%	≤±40	≤±40	≤±30	≤±30
	断裂伸长率变化率/%	≤±40	≤±40	≤±30	≤±30
热变形试验	形变率/%	≤40 (130 ℃, 1 h)	≤40 (120 ℃, 1 h)	≤50 (140 ℃, 1 h)	≤50 (120 ℃, 1 h)
剥离强度	老化后剥离强度/(N·cm ⁻¹)	—	10~60 (115 ℃, 168 h)	—	10~60 (100 ℃, 168 h)

括中国电器工业协会发布的 T/CEEIA 591—2022《额定电压 6 kV($U_m=7.2$ kV)到 35 kV($U_m=40.5$ kV)热塑性聚丙烯绝缘电力电缆》^[20]和中国电机工程学会发布的 T/CSEE 0446—2024《额定电压 10 kV~35 kV 耐高温低介质损耗接枝聚丙烯绝缘电力电缆》^[21]。这两项标准主要参考了 GB/T 12706.2—2020《额定电压 1 kV($U_m=1.2$ kV)到 35 kV($U_m=40.5$ kV)挤包绝缘电力电缆及附件 第 2 部分: 额定电压 6 kV($U_m=7.2$ kV)到 30 kV($U_m=36$ kV)电缆》^[22]和 GB/T 12706.3—2020《额定电压 1 kV($U_m=1.2$ kV)到 35 kV($U_m=40.5$ kV)挤包绝缘电力电缆及附件 第 3 部分: 额定电压 35 kV($U_m=40.5$ kV)电缆》等标准规范^[23]。

在适用范围上, T/CEEIA 591—2022 适用于配电网或工业装置中固定安装的中压 6 kV($U_m=7.2$ kV)至 35 kV($U_m=40.5$ kV)热塑性聚丙烯绝缘电力电缆; T/CSEE 0446—2024 适用于中压 10 kV($U_m=12$ kV)至 35 kV($U_m=40.5$ kV)热塑性耐高温低介质损耗接枝聚丙烯绝缘电力电缆。T/CEEIA 591—2022 更侧重于中压普适性的热塑性聚丙烯电缆, 而 T/CSEE 0446—2024 在聚丙烯电缆前增

加了耐高温、低介质损耗等限定语。其中, 耐高温指导体最高工作温度超过 90 ℃ 时仍能保持优良性能; 低介质损耗指 $\tan \delta$ 低于 8×10^{-4} , 并明确针对接枝改性技术路线。因此, 在一定程度上, T/CSEE 0446—2024 的适用范围较 T/CEEIA 591—2022 更窄, 增加的限定语表明 T/CSEE 0446—2024 的技术指标更为苛刻。

在工作温度上, T/CEEIA 591—2022 规定了正常运行时导体最高工作温度为 90 ℃, 短路(最长持续 5 s)时导体最高温度为 250 ℃。其中, 该标准要求绝缘混合料为热塑性聚丙烯绝缘材料; 不同类型护套混合料分别为聚氯乙烯(polyvinyl chloride, PVC)、聚乙烯(polyethylene, PE)和无卤低烟阻燃(low smoke fume, LSF)材料; 半导电屏蔽料为非金属的半导电材料, 且能够适应电缆的工作温度, 并与绝缘料兼容。T/CSEE 0446—2024 规定了两种正常运行时导体最高工作温度, 分别为 90 ℃ 或 105 ℃, 短路(最长持续 5 s)时导体最高温度为 250 ℃。相对应地, 该标准区分了两种不同耐温程度的绝缘混合料, 分别为低介质损耗接枝聚丙烯(low dielectric loss grafted polypropylene,

GPP)和耐高温低介质损耗接枝聚丙烯(high temperature resistance and low dielectric loss grafted polypropylene, TPP);不同类型护套混合料中,PVC、PE和无卤低烟阻燃热塑性聚烯烃(WDZ-Y)均适用于90℃的工作温度,无卤低烟阻燃热塑性弹性体(WDZ-T)和无卤低烟阻燃交联型聚烯烃(WDZ-YJ)可适用于90℃或105℃的工作温度。

在电气型式试验上,两项团体标准均给出了弯曲试验、局部放电试验、 $\tan \delta$ 试验、热循环试验、冲击电压试验、工频电压试验、4 h电压试验等试验步骤及要求。T/CEEIA 591—2022规定了额定电压6/10(12) kV及以上电缆室温下施加交流电压 U_0 的 $\tan \delta$ 不超过 20×10^{-4} ;制定热循环试验、 $\tan \delta$ 测量及随后的局部放电试验,提出超过电缆正常运行时导体最高工作温度5~10℃的20次热循环试验中,规定热循环时至少进行1次在超过导体最高工作温度5~10℃下施加交流电压 U_0 的 $\tan \delta$ 测试,要求不超过 4×10^{-3} ,且规定20次热循环后再次验证室温下施加交流电压 U_0 的 $\tan \delta$ 不超过 2×10^{-3} ;随后,按照GB/T 3048.12—2007《电线电缆电性能试验方法 第12部分:局部放电试验》^[24]规定进行局部放电试验。T/CEEIA 591—2022通过20次热循环试验及 $\tan \delta$ 测量,以验证热塑性聚丙烯电缆在多次热累积条件下的介电性能,同时可在一定程度上对热塑性聚丙烯电缆长期工作稳定性进行考核;但其中,“至少进行1次”的表述未能明确是在20次热循环中具体哪一次进行测试。T/CSEE 0446—2024对 $\tan \delta$ 的要求更为苛刻,规定对于90℃和105℃导体最高工作温度的电缆,超过导体最高工作温度5~10℃下施加交流电压 U_0 的 $\tan \delta$ 分别不超过 6×10^{-4} 和 8×10^{-4} ,更是表明了其提出的低介质损耗要求。T/CSEE 0446—2024未要求在20次热循环试验后进行 $\tan \delta$ 测试,仅要求了热循环后的局部放电试验。两个标准中其余电气型式试验项目和要求与GB/T 12706系列标准没有明显差异。

在非电气型式试验上,两个标准均针对热塑性材料设置了区别于交联聚乙烯热固性材料的试验项目和考核指标,特别是取消了对热延伸试验的考核要求,其余性能要求均参考GB/T 12706系列标准。T/CEEIA 591—2022对电缆聚丙烯绝缘材料的热塑性能作出规定,包括高温压力试验和低温拉伸试验。T/CSEE 0446—2024也同样在热塑性能上规定了高温压力试验、低温弯曲试

验和低温拉伸试验,针对不同导体最高工作温度90℃和105℃,部分试验要求也有所区分。T/CEEIA 591—2022在对电缆护套的非电气型式试验的要求上,规定了PVC(ST₂)、PE(ST₇)和LSF(ST₈)在尺寸、机械性能及热塑性能等各类试验性能的要求。T/CSEE 0446—2024针对不同导体最高工作温度90℃和105℃,规定了导体最高工作温度90℃下PVC、PE、WDZ-Y、WDZ-T和WDZ-YJ护套非电气型式试验要求,同时还规定了导体最高工作温度105℃下WDZ-T和WDZ-YJ的非电气型式试验要求。两个标准中其余非电气型式试验项目和要求均参考GB/T 12706系列标准。

两项标准中热塑性聚丙烯绝缘电力电缆性能对比见表3。

3 讨 论

由目前的聚丙烯绝缘电力电缆及材料团体标准可以看出,国内聚丙烯电缆已经形成一定程度的发展势头。未来,聚丙烯电缆还需要进一步研究,针对聚丙烯电缆和电缆材料的标准规范仍需要不断完善。

聚丙烯电缆料标准规范主要通过绝缘料和半导体屏蔽料进行区分,对绝缘料和半导体屏蔽料所适应的导体最高工作温度还存在着以90℃或105℃,亦或更高温度的探讨,更高的工作温度能够在一定程度上提升电缆的输送容量,适用于负荷波动更大的应用环境。现有研究结论表明,聚丙烯材料电气性能在未改性之前与交联聚乙烯几乎持平甚至更优,在提高机械柔软过程中电气性能存在一定程度的下降。因此,需要通过接枝改性、纳米掺杂等手段提高电气性能,实现“力电协同”效应,同时还需要综合考虑其余长期性能与经济最优性。此外,现有的电缆料标准规范中均取消了“热延伸试验”等考核热固性交联聚乙烯交联度的试验项目,增加了针对热塑性材料的试验项目和考核要求,未来还需要更加明确热塑性材料作为电力电缆料时的热性能试验方法及要求。从目前的试验结果来看,对于热性能的考核主要通过热变形试验、热收缩试验或热冲击试验,试验条件还需要通过更多的实践进一步细化和完善。原有的交联聚乙烯电缆或电缆料标准中仅护套料对低温性能进行了要求,绝缘料和半导体屏蔽料并未进行要求。本文讨论的电缆料团体标准均明确要求开展低温冲击试

表 3 两项标准中热塑性聚丙烯绝缘电力电缆主要性能对比

Tab.3 Main properties comparison of thermoplastic polypropylene insulating power cables in the two standards

项目	T/CEEIA 591—2022	T/CSEE 0446—2024
导体最高工作温度	90 ℃	90 ℃或105 ℃
绝缘混合料	聚丙烯 (PP)	低介质损耗接枝聚丙烯 (GPP、90 ℃) 耐高温低介质损耗接枝聚丙烯 (TPP、105 ℃)
护套混合料	聚氯乙烯 (PVC) 聚乙烯 (PE) 无卤低烟阻燃 (LSF)	聚氯乙烯 (PVC、90 ℃) 聚乙烯 (PE、90 ℃) 无卤低烟阻燃热塑性聚烯烃 (WDZ-Y、90 ℃) 无卤低烟阻燃热塑性弹性体 (WDZ-T、90 ℃或105 ℃) 无卤低烟阻燃交联型聚烯烃 (WDZ-YJ、90 ℃或105 ℃)
介质损耗因数 (tan δ)	1) 室温下施加交流电压 U_0 , $\leq 2 \times 10^{-3}$; 2) 超过导体最高工作温度5~10 ℃的20次热循环试验中, 至少进行1次超过导体最高工作温度5~10 ℃下施加交流电压 U_0 , $\leq 4 \times 10^{-3}$; 3) 超过导体最高工作温度5~10 ℃的20次热循环试验后, 室温下施加交流电压 U_0 , $\leq 2 \times 10^{-3}$	1) 90 ℃时, 超过导体最高工作温度5~10 ℃下施加交流电压 U_0 , $\leq 6 \times 10^{-4}$; 2) 105 ℃时, 超过导体最高工作温度5~10 ℃下施加交流电压 U_0 , $\leq 8 \times 10^{-4}$
非电气型式试验	1) 电缆绝缘规定热塑性能; 2) 电缆护套规定PVC (ST ₂)、PE (ST ₇) 和LSF (ST ₈) 在尺寸、机械性能、热塑性能, 以及其他各类试验性能方面的要求	1) 电缆绝缘规定热塑性能, 区分GPP、90 ℃和TPP、105 ℃; 2) 电缆护套规定PVC、90 ℃, PE、90 ℃, WDZ-Y、90 ℃, WDZ-T、90 ℃或105 ℃, WDZ-YJ、90 ℃或105 ℃在尺寸、机械性能、热塑性能, 以及其他各类试验性能方面的要求

验, 试验温度分别为-25 ℃ 或-40 ℃, 具体温度考核的选择还需要根据南北地域和应用场景进一步研究和规范。

聚丙烯电缆团体标准规范主要还是参考 GB/T 12706 系列标准, 在电缆绝缘混合料和护套混合料上进行了适当的调整, 使其更适用于导体最高工作温度 90 ℃ 或 105 ℃。对于短路温度和持续时间, 仍依照交联聚乙烯电缆 IEC 标准和国家标准在 250 ℃ 下持续 5 s 的试验方法。但是, 这部分还存疑, 因为聚丙烯材料为热塑性材料, 其熔融温度约为 160 ℃, 当导体温度达到 250 ℃ 并持续 5 s 时, 热塑性聚丙烯基导电屏蔽层和聚丙烯绝缘层会熔融, 可能导致电缆线芯出现一定程度的偏芯。因此, 250 ℃ 下持续 5 s 的考核方法对于聚丙烯电缆而言是破坏性的试验方法, 适用于交联聚乙烯电缆, 对热塑性聚丙烯电缆的适用性, 以及试验温度 and 时间的合理性仍需进一步研究。

IEC 62895: 2017^[25] 和 IEC 62067: 2022^[26] 中对热塑性低密度聚乙烯 (low density thermoplastic polyethylene, LDPE) 和热塑性高密度聚乙烯 (high

density thermoplastic polyethylene, HDPE) 的短路温度及持续时间进行了要求, 分别为在 130 ℃ 下持续 5 s 和在 160 ℃ 下持续 5 s, 两者的导体最高工作温度分别为 70 ℃ 和 80 ℃, 通常 LDPE 和 HDPE 的熔融温度分别约为 115 ℃ 和 140 ℃。若以工作温度作为基准, 则 LDPE 和 HDPE 的短路温度与工作温度的温度差约为 60 ℃ 和 80 ℃; 若以熔融温度作为基准, 则 LDPE 和 HDPE 的短路温度与熔融温度的温度差约为 15 ℃ 和 20 ℃。对于热塑性聚丙烯电缆, 参考 HDPE 最大温度差, 若考虑以工作温度 90 ℃ 为基准, 则热塑性聚丙烯电缆短路试验条件应按照 170 ℃ 下持续 5 s; 若工作温度为 105 ℃, 则短路试验条件应按照 185 ℃ 下持续 5 s。若考虑以熔融温度 160 ℃ 为基准, 参考 HDPE 最大温度差, 热塑性聚丙烯电缆短路试验应按照在 180 ℃ 下持续 5 s 进行。由此可知, 以在 250 ℃ 下持续 5 s 为试验条件进行热塑性聚丙烯电缆短路试验考核在一定程度上过于苛刻, 未能有效验证聚丙烯电缆的短路性能, 且实际短路温度和持续时间与电力系统整体运行情况相关, 实际短路温度和时间远未达到试验所

设想的苛刻情形,因此在标准制定过程中确定短路温度和持续时间等考核条件需要慎重。为了验证热塑性聚丙烯电缆在热积累条件下的长期运行稳定性,也可以采用多次热循环试验方法,本文提及的团体标准提供了热循环试验后考核介电性能的思路,可进一步探索热循环试验后对电缆其余性能的考核,构建热塑性聚丙烯电缆针对热塑特性的试验体系。

4 结束语

本文对现有聚丙烯绝缘电力电缆及材料标准规范进行了总结和归纳,明确了聚丙烯绝缘电力电缆不同技术路线的分类,对比分析了聚丙烯电缆料和电力电缆不同团体标准的具体内容,讨论了未来针对热塑性聚丙烯电缆标准规范制定还需要进一步探索的方向,为未来聚丙烯绝缘电力电缆的标准化提供参考。具体得出以下结论。

1)从适用范围、工作温度、电气性能、老化前后机械性能、热性能、低温性能及其余性能方面对现有的中压聚丙烯电缆用绝缘料和半导体屏蔽料团体标准的试验项目、条件和要求进行对比分析,得到各电缆料团体标准的关联性和差异性。

2)从适用范围、工作温度、电气型式试验和非电气型式试验等方面对现有的中压聚丙烯电缆团体标准的试验项目、条件和要求进行对比分析,得到各电缆团体标准针对不同技术路线和工作温度等差异性提出的不同试验方式。

3)讨论分析并进一步明确聚丙烯电缆料和电缆标准规范制定需要考虑的问题,针对目前业内存疑的问题进行简要讨论,为未来标准规范化提供参考思路。

参考文献 References

- [1] ZHOU Y, HE J L. Development of environmentally friendly high-capacity power cables[J]. *Nature Reviews Electrical Engineering*, 2024, 1(9): 565-566.
- [2] HUANG X Y, ZHANG J, JIANG P K, et al. Material progress toward recyclable insulation of power cables part 2: Polypropylene-based thermoplastic materials[J]. *IEEE Electrical Insulation Magazine*, 2020, 36(1): 8-18.
- [3] 欧阳本红, 黄凯文, 赵鹏, 等. 电力电缆聚丙烯材料的研究进展[J]. *绝缘材料*, 2022, 55(8): 6-15.
- [4] HUANG S S, ZHOU Y X, HU S X, et al. Comprehensive properties of grafted polypropylene insulation materials for AC/DC distribution power cables[J]. *Energies*, 2023, 16(12): 4701.
- [5] 杜伯学, 李忠磊, 周硕凡, 等. 聚丙烯高压直流电缆绝缘研究进展与展望[J]. *电气工程学报*, 2021, 16(2): 2-11.
- [6] DU B X, LI Z L, ZHOU S F, et al. Research progress and perspective of polypropylene-based insulation for HVDC cables[J]. *Journal of Electrical Engineering*, 2021, 16(2): 2-11.
- [7] 余欣, 黄上师, 彭向阳, 等. 聚丙烯/热塑性弹性体复合绝缘材料介电性能[J]. *广东电力*, 2024, 37(9): 74-82.
- [8] YU X, HUANG S S, PENG X Y, et al. Dielectric properties of polypropylene/thermoplastic elastomer composite insulating materials[J]. *Guangdong Electric Power*, 2024, 37(9): 74-82.
- [9] 胡世勋, 张雅茹, 邵清, 等. 不同改性技术路线的聚丙烯基高压直流电缆绝缘材料综合性能比较[J]. *中国电机工程学报*, 2022, 42(4): 1243-1252.
- [10] HU S X, ZHANG Y R, SHAO Q, et al. Comprehensive performance comparisons of polypropylene based HVDC cable insulating materials adopting different modification technical routes[J]. *Proceedings of the CSEE*, 2022, 42(4): 1243-1252.
- [11] 陈鸿, 赵健康, 黄凯文, 等. 不同改性聚丙烯电缆绝缘料的结构与性能对比分析[J]. *电力工程技术*, 2022, 41(5): 233-239.
- [12] CHEN H, ZHAO J K, HUANG K W, et al. Comparative analysis of structure and properties of different modified polypropylene cable insulation materials[J]. *Electric Power Engineering Technology*, 2022, 41(5): 233-239.
- [13] 董新华, 王伟, 袁浩, 等. 基于乙烯共聚的高压抗冲共聚聚丙烯电缆绝缘材料机械和电气性能的协同优化[J/OL]. *电工技术学报*. <https://doi.org/10.19595/j.cnki.1000-6753.tces.242097>.
- [14] DONG X H, WANG W, YUAN H, et al. Synergistic optimization of the mechanical and electrical properties of high voltage impact polypropylene copolymer cable insulation materials based on ethylene copolymerization[J/OL]. *Transactions of China Electrotechnical Society*. <https://doi.org/10.19595/j.cnki.1000-6753.tces.242097>.
- [15] 姜宛廷, 雷志鹏, 门汝佳, 等. 聚丙烯/弹性体复合材料结晶调节机制与性能[J]. *中国电机工程学报*, 2024, 44(22): 9099-9111.
- [16] JIANG W T, LEI Z P, MEN R J, et al. Crystallization adjustment mechanism and performance of polypropylene/elastomer composites[J]. *Proceedings of the CSEE*, 2024, 44(22): 9099-9111.
- [17] 迟晓红, 俞利, 郑杰, 等. 蒙脱土/聚丙烯复合材料结晶形态及耐电树枝化特性[J]. *复合材料学报*, 2015,

- 32(1): 76-84.
- CHI X H, YU L, ZHENG J, et al. Crystallization morphology and electrical tree resistance characteristics of montmorillonite/polypropylene composites[J]. *Acta Materiae Compositae Sinica*, 2015, 32(1): 76-84.
- [12] 郝国辉. 接枝改性聚丙烯绝缘材料水树特性 [D]. 北京: 华北电力大学 (北京), 2023.
- HAO G H. Water tree properties of grafted polypropylene insulating material[D]. Beijing: North China Electric Power University (Beijing), 2023.
- [13] 上海市塑料工程技术学会. 额定电压 6 kV 到 35 kV 电力电缆用改性聚丙烯电缆料 第 1 部分: 绝缘料: T/SHPTA 014.1—2021[S]. 北京: 中国标准出版社, 2022.
- Shanghai Society of Plastics Engineering and Technology. Modified polypropylene compounds for power cables of rated voltages from 6 kV up to 35 kV—Part 1: Insulating compounds: T/SHPTA 014.1—2021[S]. Beijing: China Standards Press, 2022.
- [14] 上海市塑料工程技术学会. 额定电压 6 kV 到 35 kV 电力电缆用改性聚丙烯电缆料 第 2 部分: 半导体屏蔽料: T/SHPTA 014.2—2021[S]. 北京: 中国标准出版社, 2022.
- Shanghai Society of Plastics Engineering and Technology. Modified polypropylene compounds for power cables of rated voltages from 6 kV up to 35 kV—Part 2: Semi-conductive shielding compounds: T/SHPTA 014.2—2021[S]. Beijing: China Standards Press, 2022.
- [15] 中国石油和化学工业联合会. 额定电压 6 kV ($U_m=7.2$ kV) 至 35 kV ($U_m=40.5$ kV) 热塑性聚丙烯绝缘电力电缆用绝缘料: T/CPCIF 0230—2022[S]. 北京: 化学工业出版社, 2022.
- China Petroleum and Chemical Industry Federation. Insulating materials for thermoplastic polypropylene insulated power cables of rated voltage ranges from 6 kV ($U_m=7.2$ kV) up to 35 kV ($U_m=40.5$ kV): T/CPCIF 0230—2022[S]. Beijing: Chemical Industry Press, 2022.
- [16] 中国石油和化学工业联合会. 额定电压 6 kV ($U_m=7.2$ kV) 至 35 kV ($U_m=40.5$ kV) 热塑性聚丙烯绝缘电力电缆用半导体屏蔽料: T/CPCIF 0231—2022[S]. 北京: 化学工业出版社, 2022.
- China Petroleum and Chemical Industry Federation. Semi-conductive shielding compound for thermoplastic polypropylene insulated power cables of rated voltage ranges from 6 kV ($U_m=7.2$ kV) up to 35 kV ($U_m=40.5$ kV): T/CPCIF 0231—2022[S]. Beijing: Chemical Industry Press, 2022.
- [17] 全国塑料制品标准化技术委员会. 电线电缆用软聚氯乙烯塑料: GB/T 8815—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- National Technical Committee 48 on Plastic Products of Standardization Administration of China. Plasticized polyvinyl chloride (PVC) compounds for wire and cable: GB/T 8815—2008[S]. Beijing: China Standards Press, 2009.
- [18] 全国电线电缆标准化技术委员会. 电缆和光缆绝缘和护套材料通用试验方法 第 13 部分: 通用试验方法——密度测定方法——吸水试验——收缩试验: GB/T 2951.13—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- National Technical Committee for Standardization of Wire and Cable. Common test methods for insulating and sheathing materials of electric and optical cables—Part 13: Methods for general application—Measurement for determining the density—Water absorption tests—Shrinkage test: GB/T 2951.13—2008[S]. Beijing: China Standards Press, 2008.
- [19] 全国塑料标准化技术委员会石化塑料树脂产品分会. 塑料 聚乙烯水分含量的测定: SH/T 1770—2010[S]. 北京: 中国石化出版社, 2011.
- National Plastics Standardization Technical Committee on Petrochemical Plastic Resin Products Sub-Technical Committee. Plastics-determination of water content for polyethylene: SH/T 1770—2010[S]. Beijing: China Petrochemical Publishing House, 2011.
- [20] 中国电器工业协会电线电缆标准化专业委员会. 额定电压 6 kV ($U_m=7.2$ kV) 到 35 kV ($U_m=40.5$ kV) 热塑性聚丙烯绝缘电力电缆: T/CEEIA 591—2022[S]. 北京: 中国标准出版社, 2022.
- China Electrical Equipment Industry Association on Wire and Cable Standardization Professional Committee. Power cables with thermoplastic polypropylene insulation for rated voltages from 6 kV ($U_m=7.2$ kV) up to 35 kV ($U_m=40.5$ kV): T/CEEIA 591—2022[S]. Beijing: China Standards Press, 2022.
- [21] 中国电机工程学会高电压专业委员会. 额定电压 10 kV~35 kV 耐高温低介质损耗接枝聚丙烯绝缘电力电缆: T/CSEE 0446—2024[S]. 北京: 中国电力出版社, 2025.
- The Chinese Society of Electrical Engineering on High Voltage Professional Committee. Grafting polypropylene insulation power cables with thermostability and low dielectric loss for rated voltages from 10 kV up to 35 kV: T/CSEE 0446—2024[S]. Beijing: China Electric Power Publishing House, 2025.
- [22] 全国电线电缆标准化技术委员会. 额定电压 1 kV ($U_m=1.2$ kV) 到 35 kV ($U_m=40.5$ kV) 挤包绝缘电力电缆及附件 第 2 部分: 额定电压 6 kV ($U_m=7.2$ kV) 和 30 kV ($U_m=36$ kV) 电缆: GB/T 12706.2—2020[S]. 北京: 中国质检出版社, 2020.

National Technical Committee for Standardization of Wire and Cable. Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV ($U_m=1.2$ kV) up to 35 kV ($U_m=40.5$ kV)—Part 2: Cables for rated voltages from 6 kV ($U_m=7.2$ kV) up to 30 kV ($U_m=36$ kV): GB/T 12706.2—2020[S]. Beijing: China Quality Inspection Press, 2020.

- [23] 全国电线电缆标准化技术委员会. 额定电压 1 kV ($U_m=1.2$ kV) 到 35 kV ($U_m=40.5$ kV) 挤包绝缘电力电缆及附件 第 3 部分: 额定电压 35 kV ($U_m=40.5$ kV) 电缆: GB/T 12706.3—2020[S]. 北京: 中国质检出版社, 2020.

National Technical Committee for Standardization of Wire and Cable. Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV ($U_m=1.2$ kV) up to 35 kV ($U_m=40.5$ kV)—Part 3: Cables for rated voltages of 35 kV ($U_m=40.5$ kV): GB/T 12706.3—2020[S]. Beijing: China Quality Inspection Press, 2020.

- [24] 全国电线电缆标准化技术委员会. 电线电缆电性能试验方法 第 12 部分: 局部放电试验: GB/T 3048.12—2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.

National Technical Committee for Standardization of Wire and Cable. Test methods for electrical properties of electric cables and wires—Part 12: Partial discharge test: GB/T 3048.12—2007[S]. Beijing: China Standards Press, 2008.

- [25] IEC. High voltage direct current (HVDC) power transmission—Cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages up to 320 kV for land applications—Test methods and requirements: IEC 62895: 2017[S]. Switzerland: IEC Central Office, 2017.
- [26] IEC. Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages above 150 kV ($U_m=170$ kV) up to 500 kV ($U_m=550$ kV)—Test methods and

requirements: IEC 62067: 2022[S]. Switzerland: IEC Central Office, 2022.

收稿日期: 2025-01-27

修回日期: 2025-02-10

作者简介:



黄上师 HUANG Shangshi
1993—, 男, 助理研究员
主要从事先进能源电介质材料和雷电过电压防护研究
E-mail: huangshangshi93@163.com



张熙宇 ZHANG Xiyu
2000—, 男, 博士研究生
主要从事高电压绝缘电介质材料开发及其电荷输运特性研究
E-mail: zhangxiy22@mails.tsinghua.edu.cn



童成 TONG Cheng
2000—, 男, 硕士研究生
主要从事环保型电缆材料研究
E-mail: 458137753tc@gmail.com



李琦 LI Qi
1984—, 男, 副教授
主要从事介电高分子复合材料及其储能和能量转换等领域的关键基础及应用技术研究
E-mail: qili1020@tsinghua.edu.cn



何金良 HE Jinliang
1966—, 男, 教授
主要从事能源材料和输变电技术研究
E-mail: hejl@tsinghua.edu.cn

Overview of Standards and Specifications for Polypropylene Insulation Power Cables and Its Materials in China

HUANG Shangshi, ZHANG Xiyu, TONG Cheng, LI Qi, HE Jinliang

(State Key Laboratory of Power System Operation and Control (Tsinghua University), Beijing 100084, China)

Abstract: Polypropylene insulation power cables have been widely concerned in related fields at home and abroad because of their excellent electrical properties, eco-friendly and recyclable features. With the popularization and application of polypropylene cables, several standards and specifications for polypropylene cables and their materials have been formed. In view of a number of group standards on thermoplastic polypropylene cables and polypropylene cable materials published by domestic industry, the test items, conditions and requirements of each normative documents were compared, the problems concerned were discussed in the engineering application of polypropylene cables, and the research directions for standardization process of polypropylene cables were proposed. These could provide reference and guidance for more scientific and standardized development of polypropylene cables system in the future.

Key words: thermoplastic materials; polypropylene-based insulating materials; polypropylene-based semi-conductive materials; polypropylene cables; standards and specifications